

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-234062

(43) 公開日 平成8年(1996)9月13日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G02B 6/42			G02B 6/42	
6/30			6/30	
H01L 31/12			H01L 31/12	A
// H01S 3/18			H01S 3/18	

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全10頁)

(21) 出願番号	特願平7-38548	(71) 出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号
(22) 出願日	平成7年(1995)2月27日	(72) 発明者	三富 修 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	東盛 裕一 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	近藤 康洋 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 谷 義一 (外1名)

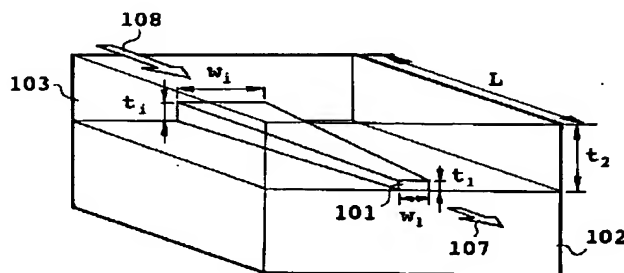
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光結合デバイスおよび光結合方法

(57) 【要約】

【目的】 異なるスポットサイズの光導波路デバイスを光結合するために、スポットサイズを低損失で変換する光結合デバイスおよび光結合方法を提供すること。

【構成】 相対的にスポットサイズの大きな光導波路デバイスと、相対的にスポットサイズの小さな光導波路デバイスとを結合する光結合デバイスは半導体基板102上に光の伝搬方向に形状がテーパ状に変化しているコア101を形成し、このコアを取り囲むように第1のクラッド層103を形成する。第1のクラッド層の屈折率はコアよりも小さく、かつ半導体基板よりも大きい。少なくともスポットサイズの大きい光導波路デバイスとの光結合端面側近傍において、第1のクラッド層の厚さ( $t_1$ )を、光結合端面のスポットサイズが前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスのスポットサイズの大きさに合うように設定する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 相対的にスポットサイズの大きな光導波路デバイスと、相対的にスポットサイズの小さな光導波路デバイスとを結合する光結合デバイスにおいて、半導体基板と、前記半導体基板上に形成され、光の伝搬方向に形状がテーパー状に変化しているコアと、前記半導体基板上に形成され、前記コアを取り囲むように構成された第1のクラッド層とを備え、前記第1のクラッド層の屈折率が、前記コアよりも小さく、かつ前記半導体基板よりも大きく、少なくとも前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスとの光結合端面側近傍において、前記第1のクラッド層の厚さを、前記光結合端面のスポットサイズが前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスのスポットサイズの大きさに合うように設定したことを特徴とする光結合デバイス。

【請求項2】 少なくとも前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスとの光結合端面側近傍において、前記コアの両脇に、前記第1のクラッド層を介して、前記第1のクラッド層よりも小さい屈折率を持つ第2のクラッド層を配したことを特徴とする請求項1に記載の光結合デバイス。

【請求項3】 少なくとも前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスとの光結合端面側近傍において、前記2つの第2のクラッド層の間隔を、前記光結合端面のスポットサイズが前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスのスポットサイズの大きさに合うように設定したことを特徴とする請求項2に記載の光結合デバイス。

【請求項4】 前記第1のクラッド層の上に、前記第1のクラッド層よりも小さな屈折率を持つ第3のクラッド層を配したことを特徴とする請求項1、2または3に記載の光結合デバイス。

【請求項5】 前記第2のクラッド層を $n^+$ 形半導体で構成したことを特徴とする請求項2、3または4に記載の光結合デバイス。

【請求項6】 少なくとも前記半導体基板もしくは前記第3のクラッド層を $n^+$ 形半導体で構成したことを特徴とする請求項4または5に記載の光結合デバイス。

【請求項7】 相対的にスポットサイズの大きな光導波路デバイスと、相対的にスポットサイズの小さな光導波路デバイスとを結合する光結合デバイスにおいて、半導体基板と、前記半導体基板上に形成され、光の伝搬方向に形状がテーパー状に変化しているコアと、前記半導体基板上に形成され、前記コアを取り囲むように構成されたクラッド層と、光波フィールド分布形状を前記スポットサイズの大きい光導波路デバイス内の光波フィールド分布形状に近似した形状に変換する光波フィールド分布形状変換部とを備

えたことを特徴とする光結合デバイス。

【請求項8】 前記光波フィールド変換部は、少なくとも前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスとの光結合端面側近傍における前記クラッド層の部分であって、前記光結合端面のスポットサイズが前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスのスポットサイズの大きさに合う厚さを有する部分を含んでなることを特徴とする請求項7に記載の光結合デバイス。

【請求項9】 前記スポットサイズの大きい光導波路デバイス内の光波フィールド分布がガウス形光波フィールド分布であることを特徴とする請求項7または8に記載の光結合デバイス。

【請求項10】 相対的にスポットサイズの大きな光導波路デバイスと、相対的にスポットサイズの小さな光導波路デバイスとを光結合デバイスを用いて結合する光結合方法において、光結合デバイス内を伝搬する光の光波フィールド分布形状を、前記スポットサイズの大きい光導波路デバイス内の光波フィールド分布形状に近似した形状に変換する光波フィールド分布形状変換工程を含むことを特徴とする光結合方法。

【請求項11】 前記光波フィールド分布形状の変換は、前記光結合デバイスの少なくとも前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスとの光結合端面側近傍において、前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスのスポットサイズの大きさに合う厚さを有するクラッドに取り囲まれたコア部分を通して光を伝搬させることにより行うことを特徴とする請求項10に記載の光結合方法。

【請求項12】 前記スポットサイズの大きい光導波路デバイス内の光波フィールド分布がガウス形光波フィールド分布であることを特徴とする請求項10または11に記載の光結合方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光導波路を伝わる光波のスポットサイズを低損失で変換する光結合デバイスおよび光結合方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】半導体レーザダイオード(LD)や半導体光スイッチ等の半導体光導波路デバイスと単一モード光ファイバとの間を光結合させる場合、デバイス端面と光ファイバを直接突合せ結合(バットジョイント)させると、互いの光導波路光波スポットサイズが異なっているために、直接突合せ部の結合損失が問題になる。通常、半導体光導波路デバイスの光波スポットサイズ(モード直径:W)は $2\mu\text{m}$ 程度であり、光ファイバのスポットサイズは約 $10\mu\text{m}$ であるので、この結合損失は約10dBになる。そこで、レンズによってスポットサイズを変換することによって結合損失を低減する方法が一

般にとられる。

【0003】複数のレーザダイオード(LD)等を形成した光機能素子とアレー光ファイバとの間を、1個のレンズで光結合させる場合について、従来の構成例を図10に示す。図10において、1000は光機能デバイス、1002は半導体基板、1001はLDの活性領域(光導波路のコア)、1009はレンズ、1010は光ファイバ、1011は光ファイバを一定間隔で固定するためのVグループアレーである。このような構成においては、光機能デバイスの集積規模が大きくなるに従って、レンズの収差等の影響により結合損失が大きくなるために、1個の半導体基板に集積できる光機能素子部の個数に制限があった。

【0004】図11に示すような、テーパ状の光導波路により光のスポットサイズを変換する光結合デバイスを、レンズの代わりとして用いることにより、LDと光ファイバ間を低損失に光結合させる方法がある。図11(a)は、従来の光結合デバイスの上面図、(b)は断面図、図12は動作原理を説明するための特性図である。すなわち、図12から分かるように、光導波路のコア1101の比屈折率差 $\Delta n [= (n - n_1) / n_1]$ 、 $n_1$ 、 $n$ はそれぞれクラッド層1102、1106、コア層1101の屈折率]を一定の大きさに固定した場合、コア1101の厚さ $t$ 、もしくは幅 $w$ を0から次第に大きくしていくと、導波光(基本モード光)のスポットサイズ $W$ は、無限の大きさから次第に小さくなり、極小値をとった後、再び大きくなる関係がある。ここで、 $t$ 、 $w$ が大きくなり過ぎると多モード光導波路になり、高次モード変換による損失が大きくなるために、通常、この領域の寸法は用いられない。この関係を利用して、光結合デバイスのコア1101の大きさ $t$ 、 $w$ の設計においては、光入射端側(LDとの結合側)では、LD光1108のスポットサイズ(約 $2\mu\text{m}$ )と同程度のスポットサイズ $W_i$ を与える寸法 $w_i$ 、 $t_i$ (=数 $100\text{nm}$ ~数 $\mu\text{m}$ )に、光出射端側では、光ファイバのスポットサイズ(約 $10\mu\text{m}$ )と同程度の大きさ $W_o$ を与える寸法 $t_o$ 、 $w_o$ (=数 $10\text{nm}$ ~数 $\mu\text{m}$ )に設定すればよい。また、コア1101の大きさがテーパ状になる領域の長さ $L$ は、放射による損失を低減するために、数 $10\mu\text{m}$ から数 $\text{mm}$ 以上の長さに設定される。このような光結合デバイスにおいて、 $\text{SiO}_2$ や $\text{LiNbO}_3$ 等の誘電体材料を用いた光結合デバイスは、コア部とクラッド部の比屈折率差 $\Delta n$ が通常1%以下であるので、光ファイバと結合をとる光出射端側では、コアの大きさは数ミクロン程度の大きさになる。しかし、半導体材料を用いた光結合デバイスにおいては、その $\Delta n$ が通常数%以上であるので、光出射端部のコアの大きさはサブミクロンの大きさになり、このために光出射端部の光波フィールドが指数関数形状になる。従って、光波フィールドがガウス分布形状である光ファイバとの間で光波フィール

ドの相違による結合損失を生ずる欠点がある。図13は、半導体基板1102と上部半導体層1106が光ファイバのスポットサイズ $W_i$ より充分厚い場合を従来例において、光出射端でのコア幅 $w_o$ に対する光ファイバ結合損失特性を示す。ここでは、コア厚 $t_o$ は一定( $0.1\mu\text{m}$ )としている。すなわち、テーパ導波路を形成するには、サブミクロンオーダーの寸法を加工する高度なプロセス技術を要するが、特に、光ファイバと低結合損失の特性を得るための光出射端でのコアの寸法トレランスがサブミクロン以下になり、製作性に難点があった。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、

- ①スポットサイズの小さな光導波路デバイスとスポットサイズの大きな光導波路デバイスを光結合するために、スポットサイズを低損失で変換する光結合デバイスおよび光結合方法を提供すること、
- ②半導体光導波路内の指数関数形の光波フィールド分布を、光ファイバ内のガウス形光波フィールド分布に近い形状に変換し、光波フィールド分布形状の相違による結合損失を低減する光結合デバイスおよび光結合方法を提供すること、
- ③大きなスポットサイズの光導波路デバイスと接続する側のコアの寸法に関し、製作精度の緩い光結合デバイスおよび光結合方法を提供することにある。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の解決手段に従う光結合デバイスは、相対的にスポットサイズの大きな光導波路デバイスと、相対的にスポットサイズの小さな光導波路デバイスとを結合する光結合デバイスにおいて、半導体基板と、前記半導体基板上に形成され、光の伝搬方向に形状がテーパ状に変化しているコアと、前記半導体基板上に形成され、前記コアを取り囲むように構成された第1のクラッド層とを備え、前記第1のクラッド層の屈折率が、前記コアよりも小さく、かつ前記半導体基板よりも大きく、少なくとも前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスとの光結合端面側近傍において、前記第1のクラッド層の厚さを、前記光結合端面のスポットサイズが前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスのスポットサイズの大きさに合うように設定したことを特徴とする。

【0007】本発明の第2の解決手段に従う光結合デバイスは、上述の第1の解決手段に従う光結合デバイスにおいて、少なくとも前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスとの光結合端面側近傍において、前記コアの両脇に、前記第1のクラッド層を介して、前記第1のクラッド層よりも小さい屈折率を持つ第2のクラッド層を配したことを特徴とする。

【0008】本発明の第3の解決手段に従う光結合デバイスは、上述の第2の解決手段に従う光結合デバイスに

において、少なくとも前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスとの光結合端面側近傍において、前記2つの第2のクラッド層の間隔を、前記光結合端面のスポットサイズが前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスのスポットサイズの大きさに合うように設定したことを特徴とする。

【0009】本発明の第4の解決手段に従う光結合デバイスは、上述の第1、第2または第3の解決手段に従う光結合デバイスにおいて、前記第1のクラッド層の上に、前記第1のクラッド層よりも小さな屈折率を持つ第3のクラッド層を配したことを特徴とする。

【0010】本発明の第5の解決手段に従う光結合デバイスは、上述の第2、第3または第4の解決手段に従う光結合デバイスにおいて、前記第2のクラッド層を $n^+$ 形半導体で構成したことを特徴とする。

【0011】本発明の第6の解決手段に従う光結合デバイスは、上述の第4または第5の解決手段に従う光結合デバイスにおいて、少なくとも前記半導体基板もしくは前記第3のクラッド層を $n^+$ 形半導体で構成したことを特徴とする。

【0012】本発明の第7の解決手段に従う光結合デバイスは、相対的にスポットサイズの大きな光導波路デバイスと、相対的にスポットサイズの小さな光導波路デバイスとを結合する光結合デバイスにおいて、半導体基板と、前記半導体基板上に形成され、光の伝搬方向に形状がテーパ状に変化しているコアと、前記半導体基板上に形成され、前記コアを取り囲むように構成されたクラッド層と、光波フィールド分布形状を前記スポットサイズの大きい光導波路デバイス内の光波フィールド分布形状に近似した形状に変換する光波フィールド分布形状変換部とを備えたことを特徴とする。

【0013】本発明の第8の解決手段に従う光結合デバイスは、上述の第7の解決手段に従う光結合デバイスにおいて、前記光波フィールド変換部は、少なくとも前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスとの光結合端面側近傍における前記クラッド層の部分であって、前記光結合端面のスポットサイズが前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスのスポットサイズの大きさに合う厚さを有する部分を含んでなることを特徴とする。

【0014】本発明の第9の解決手段に従う光結合デバイスは、上述の第7または第8の解決手段に従う光結合デバイスにおいて、前記スポットサイズの大きい光導波路デバイス内の光波フィールド分布がガウス形光波フィールド分布であることを特徴とする。

【0015】本発明の第10の解決手段に従う光結合方法は、相対的にスポットサイズの大きな光導波路デバイスと、相対的にスポットサイズの小さな光導波路デバイスとを光結合デバイスを用いて結合する光結合方法において、光結合デバイス内を伝搬する光の光波フィールド分布形状を、前記スポットサイズの大きい光導波路デバ

イス内の光波フィールド分布形状に近似した形状に変換する光波フィールド分布形状変換工程を含むことを特徴とする。

【0016】本発明の第11の解決手段に従う光結合方法は、上述の第10の解決手段に従う光結合方法において、前記光波フィールド分布形状の変換は、前記光結合デバイスの少なくとも前記スポットサイズの大きな光導波路デバイスとの光結合端面側近傍において、前記スポットサイズの大きい光導波路デバイスのスポットサイズの大きさに合う厚さを有するクラッドに取り囲まれたコア部分を通して光を伝搬させることにより行うことを特徴とする。

【0017】本発明の第12の解決手段に従う光結合方法は、上述の第10または第11の解決手段に従う光結合方法において、前記スポットサイズの大きい光導波路デバイス内の光波フィールド分布がガウス形光波フィールド分布であることを特徴とする。

【0018】

【作用】このような構成をとることにより、コアの周りを比較的屈折率の高い第1のクラッド層で取り囲み、該第1のクラッド層の外側に比較的屈折率の低いクラッド層（半導体基板、第2のクラッド層、第3のクラッド層、空気層）が配されることになり、コアと第1のクラッド層との光閉じ込め構造、第1のクラッド層とその外側のクラッド層との光閉じ込め構造、というように二重の光閉じ込め構造を形成することになる。

【0019】光の伝搬方向に形状がテーパ状に変化しているコアにより、スポットサイズが変換される。コアの寸法が大きいときには、光がコアに強く閉じ込められてフィールド分布が広がらないため、周囲のクラッド構造の影響をほとんど受けず、スポットサイズが小さい。逆にコアの寸法が小さくなると、光のコアへの閉じ込めが弱くなり、光波フィールド分布が広がるため、スポットサイズが大きくなる。コアの寸法が光の伝搬方向にテーパ状に変化すると、光のコアへの閉じ込めの強さが徐々に変化し、その結果スポットサイズが変換される。

【0020】少なくとも、光のスポットサイズが大きい光導波路デバイスとの光結合端面の近傍において、コアの周りに比較的屈折率の高い第1のクラッド層を配し、その外側に比較的屈折率の低い半導体基板、第2のクラッド層、第3のクラッド層または空気層を配しているため、光波フィールド分布形状の変換が行える。コア寸法が比較的大きいところではスポットサイズは小さくなっており、その光波フィールド分布は、コアの寸法・形状にのみほぼ規定される。しかし、コア寸法が小さくなってスポットサイズが大きくなるころでは、コアの閉じ込めが弱くなり、光波フィールド分布はコアと第1のクラッド層との閉じ込め構造、および第1のクラッド層と、その外側の比較的低い屈折率の半導体基板、第2のクラッド層、第3のクラッド層または空気層の閉じ込め

構造に規定される。このために、第1のクラッド層の寸法を、大きいスポットサイズの光導波路デバイスのスポットサイズの大きさの程度に設定すれば、その光波フィールド分布はガウス形分布に近づく。

【0021】大きなスポットサイズ側の光波フィールド分布がコアを取り囲む第1のクラッド層の寸法・形状に強く依存するために、コア寸法の製作精度の緩い光結合デバイスとなる。

【0022】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例と原理・効果を詳細に説明する。

【0023】図1は、本発明による光結合デバイスの一実施例の斜視図を示す。101は屈折率が $n_c$ の光導波路のコア層、102は屈折率が $n_s$ の $n$ 形半導体基板である。103は第1のクラッド層としての半導体層であり、屈折率が $n_p$ の $n$ もしくは $i$ （ノンドープ：真性）もしくは $p$ 形半導体層で構成される。さらに、半導体層103の上部には、例えば $\text{SiO}_2$ や空気等の低い屈折率（ $n_a$ （ $< n_p$ ））の誘電体（不図示）、もしくは金属や金属コンタクト層等（不図示）が配置されている。半導体層103は半導体基板102を構成する半導体層より屈折率が大きい半導体層であり、各半導体層102、103とその上部が光導波路のクラッド領域になる。107は出射光である。図中の各半導体層の屈折率の大きさは、 $n_c > n_p > n_s$ 、 $n_a$ の関係を持たせてある。コア層101の断面の大きさは、光導波路のスポットサイズが、光入射端側では半導体レーザや光変調器あるいは光スイッチ等の光機能デバイスのスポットサイズに合わせるように設定され、出射端側に向かうにつれて徐々に変化させ、光出射端部では接続される光機能デバイス（例えば光ファイバ）のスポットサイズと同程度のスポットサイズを与える寸法に設定している。光出射端部のコアの幅、厚さをそれぞれ $w_1$ 、 $t_1$ と表す。半導体層103の厚さ $t_2$ は、光ファイバのスポットサイズと同程度の大きさに設定され、この層はサブクラッド領域（第1クラッド領域）になる。本構成において、光入射端側では、光閉じ込めが強い導波路構造になっているので、その光学的特性は従来の場合とほとんど変わらないので、入射端部のコア寸法 $w_1$ 、 $t_1$ は図11の従来例とほぼ同じ大きさに設定される。導波路長 $L$ は、伝搬光がそれぞれの領域での定常導波モードに近い状態になるように、充分長く設定され、通常、数 $10\mu\text{m}$ から数 $\text{mm}$ の長さになれば、本発明の効果が得られる。また、光出射端部のコア寸法 $w_1$ 、 $t_1$ については、図8で示す設計例と同様に、光ファイバとの結合損失が小さくなる大きさに設定すればよい。ただし、必要以上に寸法を小さくすると、光波フィールド強度のピーク位置がコア101から外れて、半導体層103の中央付近に移る。この場合、テーパ導波路でのスポットサイズ変換に伴う放射損失が増大するので、この効果を考慮して設定

すればよい。

【0024】図2は、本発明による光結合デバイスの他の実施例の光ファイバ結合側光出射端部の断面図である。コア201は厚さ $t_{21}$ の半導体層203（屈折率： $n_{p1}$ ）と厚さ $t_{22}$ の半導体層204（ $n_{p2}$ ）で囲まれるように配置され、さらに、上部は屈折率 $n_a$ の $n'$ 形半導体層もしくは誘電体層205で覆われている。この場合、各半導体の屈折率は、 $n_c > n_{p1}$ 、 $n_{p2} > n_s$ 、 $n_a$ の関係があり、半導体層203、204が第1クラッド領域に、半導体基板202と上部半導体層としての低屈折率の半導体層205が第2クラッド領域になる。

【0025】図3は、本発明による光結合デバイスの他の実施例の光出射端部の断面図である。この場合、コア301は厚さ $t_{31}$ の半導体層303（屈折率： $n_{p1}$ ）と厚さ $t_{32}$ の半導体層304（ $n_{p2}$ ）で囲まれるように配置され、低屈折率の半導体層305が第1クラッド領域の半導体層303、304の両脇に間隔 $w_2$ で配置される。さらに、上部は屈折率 $n_a$ の $n'$ 形変動体層もしくは誘電体層（不図示）で覆われていてもよい。各半導体の屈折率は、 $n_c > n_{p1}$ 、 $n_{p2} > n_s$ 、 $n_a$ 、 $n_s$ の関係を持たせてあり、半導体層303、304が第1クラッド領域を、半導体基板302、側部半導体層305、半導体層303上部の誘電体（不図示）（または空気）が第2クラッド領域を構成する。

【0026】図4は、本発明による光結合デバイスの他の実施例を示す図であり、図4(a)は斜視図、(b)は光ファイバ結合側光出射端部の断面図である。401は屈折率が $n_c$ の光導波路のコア層、402は屈折率が $n_s$ の半導体基板である。403は屈折率が $n_p$ の半導体層である。さらに、半導体層403の上部には、 $\text{SiO}_2$ や空気等の低い屈折率（ $n_a$ ）の誘電体、もしくは $n'$ 形半導体や金属を配置してもよい。405は半導体層403より屈折率（ $n_a$ ）が小さい半導体層である。図中の各半導体層の屈折率の大きさは、 $n_c > n_p > n_s$ 、 $n_a$ 、 $n_s$ の関係がある。半導体層403のクラッド部（第1クラッド領域）の大きさ $w_2$ 、 $t_2$ は、光ファイバのスポットサイズと同程度の大きさに設定される。半導体層403の下部および上部の厚さをそれぞれ $t_{p1}$ 、 $t_{p2}$ 、半導体層405の厚さを $t_a$ と表す。 $t_a = t_2 - (t_{p1} + t_{p2})$ である。

【0027】図5は、本発明による光結合デバイスの他の一実施例の光出射端部の断面図であり、図4の発明の一具体例を示す。501は $\text{InGaAsP}$ 等で構成される光導波路のコア層であり、502は $n$ 形 $\text{InP}$ 基板、503は $p$ 形 $\text{InP}$ 層である。505は $n'$ 形 $\text{InP}$ 層であり、高濃度の $n$ 形不純物を注入してあるために、いわゆるプラズマ効果によって、その屈折率が相対的に小さくなっている。また、 $n'$ 形 $\text{InP}$ 層の断面形状はコア層501に対向する端部がテーパ状に形成されコア層501を中心に軸対称構造に近い構造となっている。こ

の場合、第1クラッド領域の実効幅 $w_2$ は半導体層505の間隔や形状、屈折率の大きさで決まる。p形半導体層503、n<sup>+</sup>形半導体層505は、半導体レーザで通常用いられるpn接合埋め込み層と同様に、例えばMO-CVD法等のエピタキシャル成長技術によって形成することができる。

【0028】図6は、図1の実施例の効果を説明するための図であり、光出射端部における第1クラッド領域の半導体層としての半導体層103の厚さ $t_2$ と光ファイバ結合損失との関係を、有限要素法を用いたスカラー波近似解析によって求めた計算例である。ここでは、波長 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ 帯用で、スポット直径 $w_f = 6, 8, 10 \mu\text{m}$ の光ファイバに結合させ、コア101として吸収端が $1.1 \mu\text{m}$ 組成のInGaAsPを用い、102にn形InP基板、半導体層103にノンドープInPを用いている。コア寸法は $t_1 = 0.1 \mu\text{m}$ 一定として、幅 $w_1$ を最適値に設定した場合の特性例である。すなわち、図6において、 $t_2$ が充分厚い状態から薄くしていくと、結合損失は徐々に小さくなり、最低値をとった後、再び増加傾向を示すことが分かる。図中の破線部は最適コア幅が $0.5 \mu\text{m}$ 以下になり、コアの閉じ込め効果が弱くなって、放射損失が著しく大きくなる領域である。図6から、結合される光ファイバスポットの半径に合わせるように厚さ $t_2$ を設定すれば低損失の光結合特性が得られることが分かる。

【0029】図7は、図4の実施例において、光出射端部のコア401の寸法と半導体層403の厚さを一定値( $t_1 = 0.1 \mu\text{m}$ 、 $w_1 = 1.2 \mu\text{m}$ 、 $t_{p1} = t_{p2} = 1 \mu\text{m}$ )に固定したとき、第1クラッド領域幅 $w_2$  ( $t_n = w_2 - w_1$ )と光ファイバ結合損失との関係を示す。ここで、光ファイバの光波フィールド分布が円形の軸対称形状になっているので、本発明の光結合デバイス出射端部では、第1クラッド領域の形状が、コア401を中心として円形にできる限り近い構造が望ましい。従って、第1クラッドの大きさは、 $w_2$ と $t_2$ とがほぼ等しくなるように $t_n$ の厚さを設定している。図7において、半導体層405として、(a)ではノンドープInP(半導体層403との非屈折率差 $\Delta n = 0$ )、(b)ではn形InP( $\Delta n = 0.1\%$ )、(c)ではn<sup>+</sup>形InP( $\Delta n = 0.6\%$ )を用いた場合を示す。すなわち、図7(a)は図2の実施例( $t_{21} = t_{22}$ )の場合に相当する。図7より、光ファイバ結合損失を最小にする最適の値の幅 $w_2$ 、厚さ $t_2$ があり、 $\Delta n$ が大きくなる程、最小結合損失が低減することが分かる。これは、低屈折率の材料を第1クラッドを介してコア401の周囲に配置することによって、光導波路の第1クラッド領域で光閉じ込め効果が生ずるために、図13の従来例と比較して、その光波フィールドが光ファイバの光波フィールド形状により近い状態になるためである。なお、 $\Delta n$ が $\sim 1\%$ 以上の場合、この低減効果は飽和する。また、

本発明によるこの閉じ込め効果によって、光スポットサイズが変換されるときに生ずる放射損失も抑制されるので、低損失な光結合デバイスが実現できる。特に、導波路伝搬光の光波フィールド分布強度のピーク位置が、本光結合デバイス内の光入射端から光出射端までのどの場所においてもコア中にあることが望ましい。しかも、その分布がどの場所においてもコアを中心とした軸対称形状になるように、コア、各クラッド構造・材質を設定すれば、そのときの放射損失を極めて小さくできる。

【0030】本発明による光結合デバイスの第1クラッド領域の大きさは、光ファイバと結合させる場合は、光ファイバのモードフィールドが円形であるので、図4に示すように $w_2$ と $t_2$ をほぼ同じ大きさに設定している。しかし、光波フィールド形状が例えば楕円状のような縦横比が異なる形状、あるいは歪んだ形状の場合、その形状に合わせるように第1クラッド領域の $w_2$ 、 $t_2$ を設定する、あるいは断面形状を合わせるように設定すればよい。

【0031】図8は、図5の実施例の効果を説明するための図であり、光出射端部におけるコア幅 $w_1$ と光ファイバ結合損失との関係を示す。ここでは、光ファイバのスポットサイズは $w_f = 8 \mu\text{m}$ 、iもしくはp形半導体層503の上部およびn<sup>+</sup>形半導体層505の厚さは $t_{p2} = 4.5 \mu\text{m}$ 、 $t_n = 0.6 \mu\text{m}$ 一定で、コア厚 $t_1$ をパラメータにして、半導体層503の下部の厚さ $t_{p1}$ が $t_{p1} = 0.8, 1.6, 2.4 \mu\text{m}$ の場合の特性をそれぞれ図8(a)、(b)、(c)に示している。従来例(図13)では、コアの厚さ $t_1$ をある一定値に固定した時、最小の光ファイバ結合損失を与える最適コア幅 $w_1$ のトレランスが小さく、その最適値よりわずかにずれるだけで、結合損失が著しく大きくなる関係がある。これに対して、図8から分かるように、本発明によると、 $w_1$ が最適値より多少ずれても、結合損失はそれまで大きくはならず、 $t_{p1}$ が大きい( $0.8 \rightarrow 2.4 \mu\text{m}$ )程この幅 $w_1$ のトレランスが緩和されることが分かる。しかも、 $t_{p1}$ が大きくなる程、コア幅が最適値に設定された時の最小結合損失は小さく( $1 \rightarrow 0.4 \text{ dB}$ )なる。ただし、 $t_{p1}$ を必要以上に大きくすると、図4の実施例と同様に、結合損失は増大するので、 $t_{p1}$ の大きさは最適値がある。

【0032】図9は、本発明による光結合デバイスの他の実施例の斜視図である。ここでは、光出射端部の第1クラッド領域の大きさ $w_2$ 、 $t_2$ は、以上で説明した場合と同様に設定され、本光結合デバイス内では、その大きさ $w_2$ 、 $t_2$ をテーパ状に構成している。本発明では、光入射端部でコア寸法が比較的大きく、しかもコア901とクラッド903、905との非屈折率差が大きいのので、そこでの光導波路の光波フィールド分布は、コアに強く閉じ込められており、クラッド構造にほとんど影響を受けずに、コア形状にほぼ規定される。従って、



伝搬光のスポットサイズが比較的小さい部分でのクラッド領域の構造は任意に設定できる。また、ここでは、光出射端部付近において、側部半導体層905をコア901の左右斜め上部を覆うように構成しているのので、第2のクラッド層の半導体基板902と半導体層905に囲まれた半導体層903の第1のクラッド領域が、コア901を中心とした軸対称構造に近い形状になるので、円形の光波フィールド形状を持つ光ファイバと低損失な光結合が可能になる。

【0033】以上の実施例では、動作波長が $1.3\mu\text{m}$ 帯で、コア層材質として $1.1\mu\text{m}$ 組成のInGaAsP、各半導体層にInPを用いた場合を示したが、動作波長や接続される光ファイバのスポットサイズに合わせて、導波路の材質・寸法を設定すれば、本発明の効果を得ることができるのは自明である。また、各半導体層の屈折率 $n$ が均一の材料を用いた場合を説明したが、例えば多重量子井戸層を用いて、井戸層、隔壁層の材質・厚さを選択することにより任意にその実効的屈折率を設定できるので、同様に本発明の効果を得ることが可能である。また、第3のクラッド層の外側に屈折率の逓減するクラッド層を順次設けることができる。このようにすると、さらにガウス形光波フィールド分布の近似性を高めることができる。

【0034】また、以上の実施例では、光出射端側のコアの寸法 $w_1$ 、 $t_1$ を光入射端側のコアの寸法 $w_1$ 、 $t_1$ より小さくしてスポットサイズを拡大し光ファイバのスポットサイズに合わせる場合について説明したが、例えば $w_1$ は光ファイバのそれと同等にして、 $t_1$ を極端に薄くした導波路を構成してスポットサイズを変換しても良い。本発明は、半導体デバイス以外に、例えばSiO<sub>2</sub>等のガラス材料、あるいは有機材料等を利用した光デバイスに適用できることは自明である。

【0035】本光結合デバイスは半導体材料で構成できるので、例えば、半導体レーザや光変調器、LDアンプ、光スイッチ等の光機能デバイスの光入射端部に、本光結合デバイスを同一基板上にモノリシック集積化した光デバイスを実現することも可能である。この場合、半導体基板上に、光機能デバイスの導波路を形成する時に、本光結合デバイス用導波路を同時に形成する、あるいは光機能デバイス部を形成した後、互いの導波路を直接突合せるように本光結合デバイス用導波路を形成しても良い。

【0036】以上の実施例では、光ファイバを接続する場合について説明したが、この他に、他の半導体光導波路デバイス、あるいはガラス導波路デバイスなどあらゆる光導波路デバイスとの接続部に対しても、それら導波路の光スポットサイズに合わせるように本発明による光結合デバイス導波路の材質、寸法を設定すれば、低結合損失の特性を実現できる。また、以上では半導体レーザ光を光ファイバに結合させる場合について説明したが、

逆に光ファイバから伝送されて来た光を、スポットサイズの小さな光機能デバイスに光結合をとる場合も本発明による光結合デバイスが有効なことは自明である。

#### 【0037】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、スポットサイズ変換用の光導波路コア部の周辺に第1クラッド領域を介してさらに低屈折率の領域を配置することにより、光波フィールド分布をガウス形に近い形状にしているために、低損失な特性を得ると共にコアの製作精度を緩くした光結合デバイスが実現可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による光結合デバイスの一実施例を示す斜視図である。

【図2】本発明による光結合デバイスの他の実施例の光出射端部を示す断面図である。

【図3】本発明による光結合デバイスの他の実施例の光出射端部を示す断面図である。

【図4】本発明による光結合デバイスの他の実施例を示す図であり、(a)は斜視図、(b)は断面図である。

【図5】本発明による光結合デバイスの他の実施例の光出射端部を示す断面図である。

【図6】本発明の動作原理・効果を説明するための線図である。

【図7】(a)、(b)、(c)はそれぞれ本発明の動作原理・効果を説明するための線図である。

【図8】本発明の動作原理・効果を説明するための線図である。

【図9】本発明による光結合デバイスの他の実施例を示す斜視図である。

【図10】従来の光結合デバイスの構成例を示す模式的断面図である。

【図11】従来の光結合デバイスの構成例を示す図であり、(a)は上面図、(b)は断面図である。

【図12】光スポットサイズ変換の原理を説明するための線図である。

【図13】従来の光結合デバイスの特性図である。

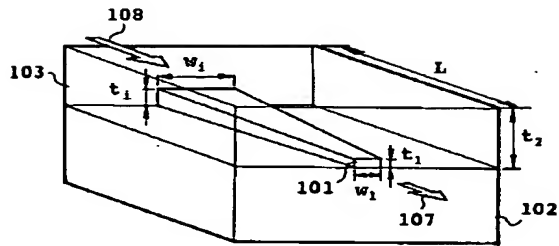
#### 【符号の説明】

101, 201, 301, 401, 501, 901, 1001, 1101 コア  
102, 202, 302, 402, 502, 902, 1002, 1102 半導体基板  
103, 203, 303, 403, 503, 903 第1クラッド領域を構成する半導体層  
107, 407, 907, 1007, 1107 出射光  
108, 408, 908, 1108 入射光  
204, 304 第1クラッド領域を構成する半導体層  
205, 305, 405, 505, 905 第2クラッド領域を構成する低屈折率半導体層  
1000 半導体光機能デバイス  
1006, 1106 クラッド層

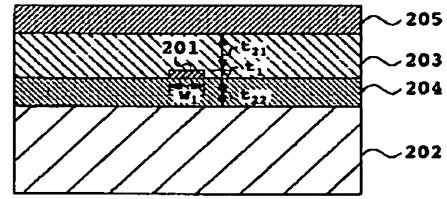
1009 レンズ  
1010 光ファイバ

1011 V-グループアレー

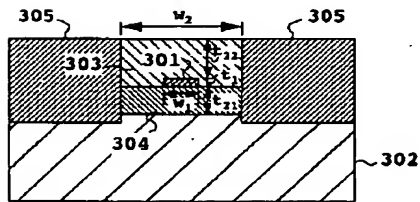
【図 1】



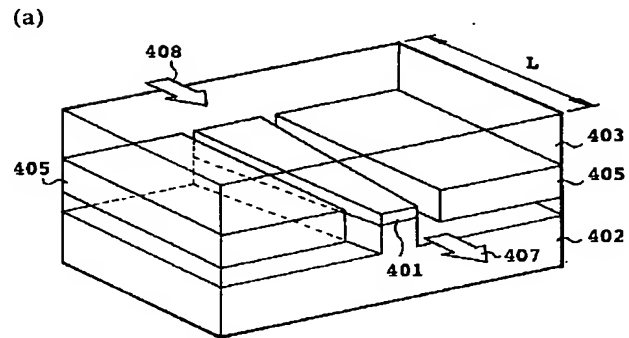
【図 2】



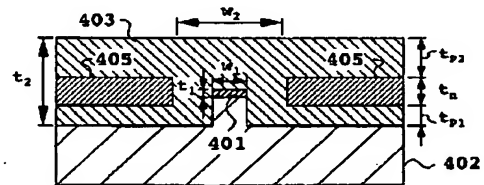
【図 3】



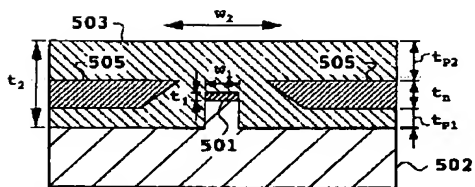
【図 4】



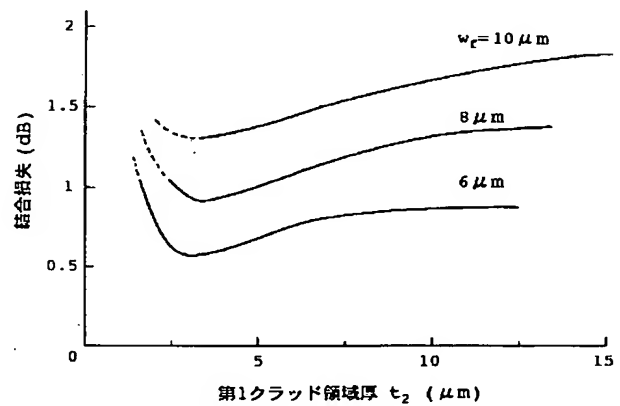
(b)



【図 5】

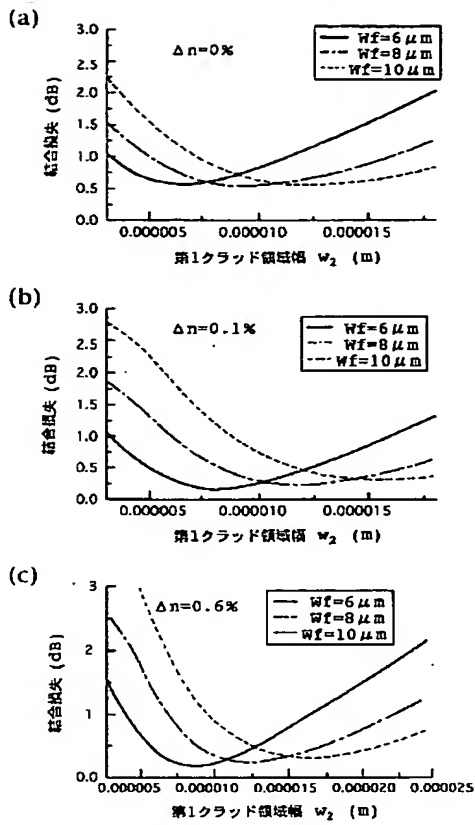


【図 6】

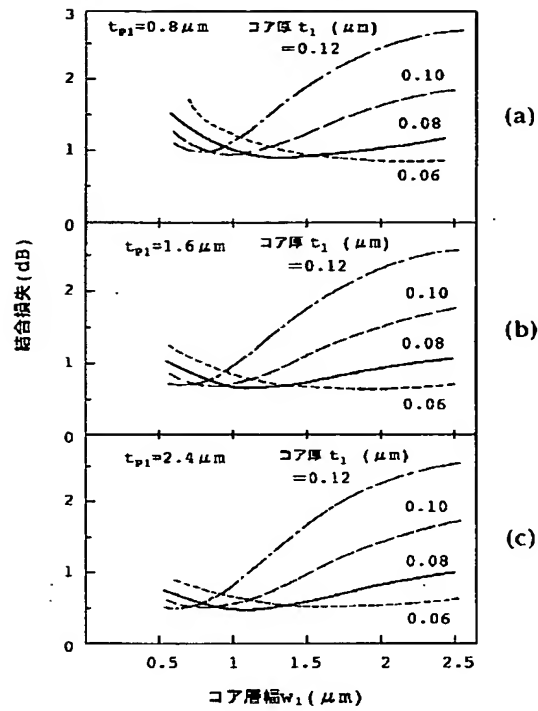




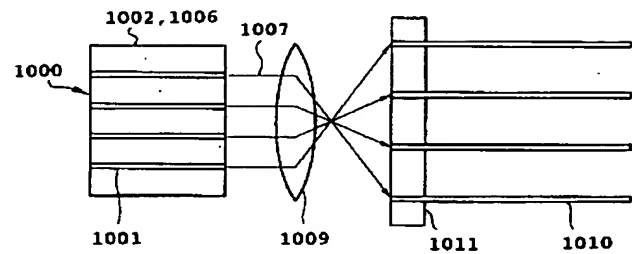
【図7】



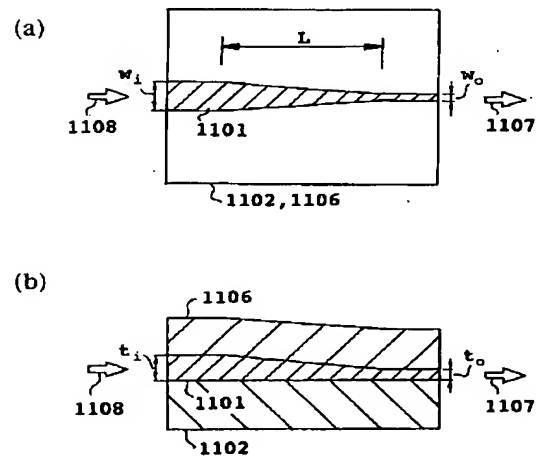
【図8】



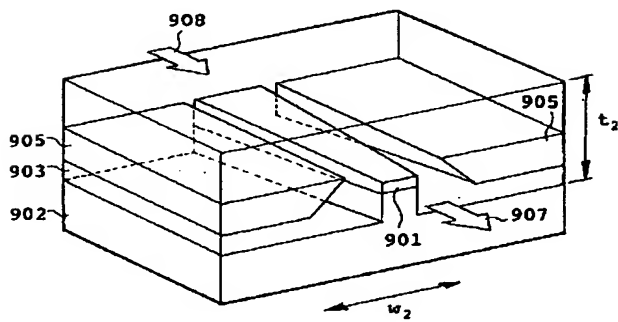
【図10】



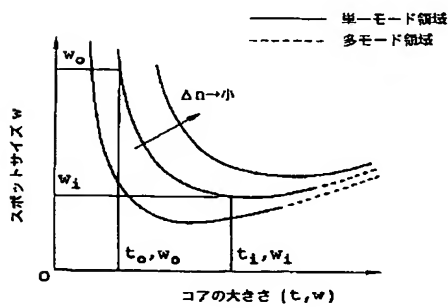
【図11】



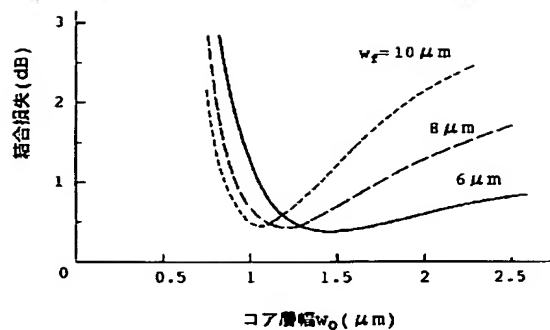
【図9】



【図12】



【図 1 3】



フロントページの続き

(72)発明者 界 義久

東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 6 号 日  
本電信電話株式会社内

(72)発明者 須崎 泰正

東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 6 号 日  
本電信電話株式会社内